

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-262012

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
H 0 4 N 7/30		H 0 4 N 7/133 Z
H 0 3 M 7/30		H 0 3 M 7/30 A

審査請求 有 請求項の数20 O L (全 13 頁)

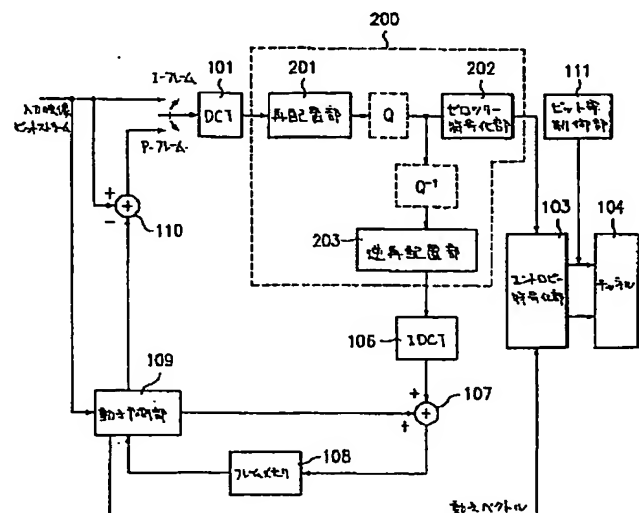
(21) 出願番号	特願平10-347626	(71) 出願人	590001669 エルジー電子株式会社 大韓民国, ソウル特別市永登浦区汝矣島洞 20
(22) 出願日	平成10年(1998)12月7日	(72) 発明者	▲鄭▼ ▲榮▼安 大韓民国 京畿▲道▼ 果川市 文原洞 115-55
(31) 優先権主張番号	1 9 9 7 - 8 1 0 3 8	(74) 代理人	弁理士 山本 秀策
(32) 優先日	1997年12月31日		
(33) 優先権主張国	韓国 (K R)		
(31) 優先権主張番号	1 9 9 8 - 4 7 2 3 9		
(32) 優先日	1998年11月2日		
(33) 優先権主張国	韓国 (K R)		

(54) 【発明の名称】 映像符号化及び復号化方法並びにその装置

(57) 【要約】

【課題】 映像を低伝送ビット率で符号化する方法及び装置、さらに符号化された映像信号を復号化する方法及び装置を提供する。

【解決手段】 8×8ブロック単位のピクチャデータをDCT変換し前記DCT係数をウェーブレット係数に変換し重要度の高い情報順に分類した結果を得た後、これをEZ構造に符号化し伝送し、伝送された映像を上記映像符号化過程と反対過程で復号化するので、既存の符号化器との互換性及び優れたビット率歪曲性能により低伝送率ビデオ伝送に適する。すなわち、画質に影響を与える重要度高い情報を優先して符号化するようにして再現画質の向上をもたらすことができる。また、Iフレーム符号化の優れたビット率歪曲性能により、シーン転換及び早速の物体移動による場面での露呈又は重畳された領域に対して優れた符号化効率を得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力フレームを複数個のブロックに分けた後、各ブロック別にブロックの空間領域を周波数領域に変換する第1段階と、

前記変換された周波数領域の係数を重要度順に分類して再配置する第2段階と、

前記再配置された係数を重要度順に符号化して重要度に基づいて整列されたビットストリームを出力する第3段階と、を備えることを特徴とする映像符号化方法。

【請求項2】 前記第1段階は、Iフレームの場合には入力されるデータを離散余弦変換(discrete cosine transform; DCT)により周波数領域に変換し、Pフレームの場合には以前のI、Pフレームを利用して動き補償予測を行った後、前記動き補償されたデータと現在入力されるデータとの差を離散余弦変換(DCT)により周波数領域に変換することを特徴とする請求項1記載の映像符号化方法。

【請求項3】 前記第1段階は、Pフレームの符号化時に、Pフレームのイントラモード/インタモードを決定する段階と、

前記イントラモードの場合には動き補償無しに符号化し、前記インタモードの場合には動き補償して符号化する段階と、を更に備えることを特徴とする請求項2記載の映像符号化方法。

【請求項4】 前記第2段階における前記重要度は、映像再現に必要な情報を含んでいる程度であることを特徴とする請求項1記載の映像符号化方法。

【請求項5】 前記第2段階における前記係数は、ウェーブレット解釈を用いて分類し、2レベルピラミッド構造として再配置することを特徴とする請求項1記載の映像符号化方法。

【請求項6】 前記第2段階は、前記係数を周波数に基づいてACとDC係数とに分解(decomposing)する段階と、前記DC係数の空間的相関性を利用するために最低周波数帯域の係数を分類し再配置する段階と、を更に備えることを特徴とする請求項5記載の映像符号化方法。

【請求項7】 前記第2段階は、前記DC係数から前記DC係数の平均値を減算する段階を更に備えることを特徴とする請求項6記載の映像符号化方法。

【請求項8】 前記第3段階における前記再配置された係数は、それらの位置及び大きさに関する情報が符号化されることを特徴とする請求項1記載の映像符号化方法。

【請求項9】 前記第3段階における前記再配置された係数は、一連の臨界値と比較して重要係数の位置及び符号を符号化することを特徴とする請求項8記載の映像符号化方法。

【請求項10】 入力フレームを複数個のブロックに分けた後、各ブロックの空間領域を周波数領域に変換するDCTユニット(unit)と、

前記変換された係数を重要度順に分類して再配置する再配置ユニットと、

前記再配置された係数を符号化して重要度に基づいて整列されたビットストリームを出力する符号化ユニットとを備えることを特徴とする映像符号化装置。

【請求項11】 前記DCTユニットは、Iフレームの場合には入力データを離散余弦変換(DCT)により周波数領域に変換し、Pフレームの場合には以前のI、Pフレームを用いて動き補償予測を行った後、前記動き補償されたデータと現在入力されるデータとの差を離散余弦変換(DCT)により周波数領域に変換することを特徴とする請求項10記載の映像符号化装置。

【請求項12】 前記Pフレームの符号化時に、各ブロックに対して動き推定しないイントラモード、或いは動き推定するインタモードを決定して符号化することを特徴とする請求項11記載の映像符号化装置。

【請求項13】 前記再配置ユニットは、前記係数をウェーブレット解釈を用いて分類した後、これを2レベルピラミッド構造として再配置することを特徴とする請求項10記載の映像符号化装置。

【請求項14】 前記符号化ユニットは、前記再配置された係数の位置及び大きさに関する情報を符号化することを特徴とする請求項10記載の映像符号化装置。

【請求項15】 前記符号化ユニットは、前記再配置された係数を一連の臨界値と比較して重要係数の位置及び符号を符号化するゼロツリー(zerotree)符号化ユニットであることを特徴とする請求項14記載の映像符号化装置。

【請求項16】 前記ゼロツリー符号化ユニットは、重要情報の位置及び符号を符号化する分類経路(sorting pass)ユニットと、前記重要係数を連続的に推定する細密区分経路(refinement pass)とを備えることを特徴とする請求項15記載の映像符号化装置。

【請求項17】 入力フレームを複数個のブロックに分け、各ブロック別にブロックの空間領域を周波数領域に変換するDCTユニットと、

前記変換手段の変換係数をジグザグスキャンニング(zigzag scanning)で量子化した後、ラン長(run-length)符号化して出力する第1符号化ユニットと、

前記変換された係数を重要度順に分類して再配置する再配置ユニットと、

前記再配置された係数の位置及び大きさに関する情報を重要度順に符号化して重要度に基づいて整列されたビットストリームを出力する第2符号化ユニットと、

前記第1符号化ユニット及び前記第2符号化ユニットのうち何れか一つを選択する選択ユニットと、を備えるこ

とを特徴とする映像符号化装置。

【請求項18】 前記重要度は、映像再現に必要な情報を含んでいる程度であることを特徴とする請求項17記載の映像符号化装置。

【請求項19】 伝送されるビットストリームデータを重要度の高い順に変換する第1段階と、前記変換されたデータをもととのブロック単位のフレーム領域に再配置する第2段階と、前記再配置されたブロック単位のデータを周波数領域から空間領域に変換する第3段階と、を備えることを特徴とする映像復号化方法。

【請求項20】 入力ビットストリームデータを、EZ構造により重要度による原映像情報に分類して再配置する逆再配置ユニットと、前記分類及び再配置されたデータをブロック単位として入力ビットストリームデータのDC係数と周波数によるAC係数値をピクチャに対応する情報として変換する逆離散余弦変換(IDCT)ユニットと、を備えることを特徴とする映像復号化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は映像信号を符号化する方法及びその装置、並びに符号化された映像信号を復号化する方法及びその装置に関し、特に低伝送率ビデオ映像を符号化しこれを復号化する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の映像符号化方法の国際規格には、停止映像の符号化/復号化規格であるJPEG(Joint Photographic Coding Experts Group)、動映像の符号化/復号化規格であるMPEG(Moving Picture Experts Group)、また低伝送率ビデオ標準案であるH. 261、H. 263等が提示されている。特に、既存の空中網(Public Switched Telephone Network; PSTN)を通ずる映像通信の必要性が増大するに伴い、符号化アルゴリズム及び標準化活動の側面で超低ビット率映像符号化(very low bit video coding)の研究が活発に行われている。その代表的な例としてITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization

Sector; 国際電気通信連合—電気通信標準化部分、全CCITT)のH. 263勧告案は、映像電話システムの具現のために超低ビット率伝送に適した動き補償ハイブリッド(motion compensated hybrid)DPCM/DCCT(Differential Pulse Code Modulation/Discrete Cosine Transform)符号化方法を使用する。この類の映像符号化方法は、入力デジタル映像信号をDCCT変換し量子化した後、量子化した映像信号を復元して原映像信号との誤差を検出し、その動きを推定して量子化ステップを制御することにより所望のビット率を確保している。

【0003】図1は従来の離散余弦変換(Discrete Cosi

ne Transform; DCT)による動映像符号化装置の構成ブロック図である。映像符号化は、I(Intra)フレーム符号化及びP(predictive)フレーム符号化に大別される。この際、Iフレームの場合は、入力されるビデオビットストリームのままDCCT部101に出力され、Pフレームの場合は、減算器110の出力、つまり動き予測されたデータと現在入力されるビットストリームとの差がDCCT部101に出力される。

【0004】前記DCCT部101は、2次元軸変換を通じてデータの相関性を除去する。このため、入力されるフレームをブロック単位に分けた後、各々のブロックを軸変換させる。すなわち、各ブロックの映像を空間領域から周波数領域へ変換する。このようにDCCTされたデータは一方(低域側)に集中する傾向にあり、このように集中されたデータのみが量子化部により量子化される。この際、前記量子化には、量子化パラメータ、つまり加重値マトリックス(weight matrix)と量子化スケールコード(quantization-scale-code)が用いられる。

【0005】ここで、前記加重値マトリックスは各DCCT係数の加重値を示し、量子化スケールコードは量子化ステップを決定する。

【0006】そして、このように量子化された後の各係数はエントロピー符号化(entropy coding)部103に出力される。前記エントロピー符号化部103は、可変長符号化(variable Length Coding; VLC)を適用して、頻繁にでる値は少ない数のビット、希にでる値は多い数のビットで表示して全体のビット数を減少させた後、チャンネル104を介して伝送する。

【0007】また、前記量子化されたデータは、再び逆量子化部105で逆量子化され、IDCT部106でIDCTされ、加算器107に出力される。前記加算器107は、動き予測部109で動き予測されたデータと、前記IDCTされたデータとを加算し、フレームメモリ108に貯蔵する。前記動き予測部109の出力とIDCTされた出力とを加算してフレームメモリ108に貯蔵すると、前記動き予測部109で現在入力されるピクチャの動き推定の時に前記フレームメモリ108に貯蔵されたデータが直ぐ前のピクチャとなる。

【0008】一方、時間軸に連続されるピクチャは、主に画面の中央部に人体又は物体の動きがあるため、動き予測部109では、このような性質を用いて時間軸の重複性を除去する。すなわち、画面の変化しない部分、若しくは動きのある画面中の類似な部分を直ぐ前のピクチャから持ってくることで、伝送すべきデータ量を大幅に減少させることができる。

【0009】このように、ピクチャの間で最も類似なブロックを探すことを動き推定(Motion estimation)とし、どのくらい動いたかを示すことを動きベクトル(Motion Vector; MV)とする。前記動きベクトルは、VLCされた変換係数情報と共にチャンネル104を介して伝送

される。この際、前記動きベクトルも最大の符号化効率を得るためにエントロピー符号化部103でVLCされる。

【0010】即ち、前記動き予測部109で動き推定をするためには、まず動きベクトル(MV)を求めなければならない。この際、MVは、一つのマクロブロック当たり最大4個まで出るが、これがそのまま送られると、あまりにビット量が大きいので、直ぐ前のマクロブロックのMVとの差のみをVLCして伝送する。

【0011】そして、前記動き予測部109の動き補償過程では、前方向、後方向の予測ブロックを用い、2つの動き補償フレームを用いる。その中のPフレームは、前方向予測のみで動き補償を行い、それ自体で次のPフレームを予測するのに用いられる。更に、前記Pフレームは、Bフレーム(両方向で予測されたフレーム)の前方向及び後方向の予測のためにも用いられる。しかし、Bフレームは、それ自体が予測のために用いられることはない。

【0012】一方、Iフレームは、任意の画面の圧縮符号化時に基準となる画面であり、原信号をブロック毎にDCT変換及び量子化過程に適用して空間方向の重複性のみを除去する。すなわち、基本的に最初のフレームはIフレーム符号化し、標準によって伝送されたパケットの損失がある場合に随時に受信端でIフレームの要請をする。こうすると、送信端からIフレームを送る。この際、Iフレームは、P、Bフレームの動き予測に用いられるため、Iフレーム符号化の結果は続くフレーム

(P、Bフレーム)の符号化効率を大きく左右する。更に、映像の背景(background)部分の場合、Iフレーム符号化後、シーン転換(scene change)が起こる前までは続くPフレームでの背景部分の符号化が殆どなされないため、Iフレーム符号化の結果が続いて主観的画質に影響を及ぼす。すなわち、Iフレーム符号化の結果がよければ、以後のPフレーム符号化の結果もよい。

【0013】そして、Pフレーム符号化の場合、入力フレームは2部分、例えば隣接フレーム間の高い視覚的相関性を利用する動き補償予測(motion compensated prediction)部分と、動き補償後の予測エラーであるDFD(Displaced Frame Difference)を符号化する過程とに大別される。

【0014】前記DFDは、減算器110の出力、つまり現在フレームと、動きベクトルだけ移動した以前フレームとの差信号であり、DFD符号化はPフレームの発生ビットの大部分を占める。

【0015】大部分の標準で、DFDはIフレーム映像符号化と同方式で符号化される。しかし、これは、自然(natural)映像とDFD映像特性との相違点をあまり利用しない。DFD映像は、主として平坦(smoothing)領域を含む自然映像より遥かに多い中間(mid)及び高周波数成分を有するため、空間的相関性が小さい。このた

め、DCT変換時に、高いエネルギー圧縮(compaction)の自然映像よりもエネルギー圧縮効率が落ち、その結果、既存のジグザグスキャンによるラン長(run-length)符号化方法の効率も落ちる。更に、DFD映像は、超低ビット率伝送時に符号化されるDCT係数の数が非常に少なく、各係数は非常に大きな量子化レベルとして表現されるため、再構成された映像にブロック現象及びリングング(ringing)効果が著しく現れる。

【0016】そして、動映像符号化の又他の問題(issue)は、ビット率制御部111でのビット率の調節である。単純に固定された量子化パラメータによってビットが発生し、係数別に符号化されるため、目標とするビット率(target bit rates)に合わせるためには反復的な方法が要求される。しかし、そうしても正確なビット率の調節は非常に難しい。

【0017】又、Iフレーム符号化は、単に量子化の間隙(量子化パラメータ)を調節するだけでビット率を調節する構造を有する。従って、超低ビット率伝送時に、大きな量子化の間隙によるDCTの誤差が大きくなり、その結果がPフレームの動き推定及び補償等の符号化に影響を及ぼして全体的な符号化の性能を落とす主要因となる。更に、超低ビット率(12~48kbps)伝送時にIフレームの符号化に必要とされるビット量が全体発生ビットの約40~70%であるため、Iフレームの効率的な符号化は全体符号化性能の向上のためには必須的である。

【0018】一方、最近、シャピロ(shapiro)のEZW(Embedded Zerotree Wavelet)の概念が紹介されながら、停止映像圧縮分野における既存のDCTによる映像符号化器(JPEG)よりも優れたビット率歪曲(rate distortion)性能の向上を示すEZ(embedded Zerotree)映像符号化の研究が盛んに進んでいる。

【0019】前記EZ符号化は、大体にウェーブレット変換された係数符号化に多く用いられる方法である。すなわち、ウェーブレット(wavelet)係数のゼロツリー構造を用いて位置(position)及び大きさ(amplitude)情報を重要度順に符号化することにより、重要度(significance)に基づいて整列されたビットストリーム(bit stream)、例えば組込式(embedded)ビットストリームを得る。この方法は、圧縮性能に優れ、アルゴリズムが単純であり、多様な解像度及び画質の可能な階位(scalability)特性及び正確なビット率調節機能がある。すなわち、ビットストリームの伝送のある時点で止まっても所与のビット率で良質の映像が得られ、ビット率の制御(rate control)が非常に容易であるという利点がある。このようなEZ符号化の主要特徴は、ウェーブレット変換の自己類似性質(self-similarity)を利用して帯域間の重要度(significance)係数の位置を予測し、ウェーブレット係数の大きさが順次的に近似化される連続推定量子化(Successive Approximation Quantization: SAQ)を行う。

【0020】EZ符号化の大略的な方法は以下の通りである。

【0021】入力映像は、ウェーブレット変換を用いて多様な解像度を有する帯域(subband)に分解される。この際、最粗(coarse)帯域には原映像の低周波成分が集まり、他の帯域には細部高周波成分が集まっている。そして、最高周波数帯域以外の所与の帯域における全係数は次の細部帯域と類似方向の係数と関係ある。従って、粗帯域の係数をペアレント(parent)、類似方向への同位置にある細密帯域の係数集合をチルドレン(children)とする。この際、最低周波数帯域のペアレントノード(parent node)は、異なる方向の3つのチルドレンを有する。

【0022】すなわち、EZWは前記ペアレントチルドレンの関係で形成されたゼロツリーとのデータ構造を作る。前記ゼロツリー構造は、もしも粗帯域のウェーブレット係数が所与の臨界値よりも小さい場合に該チルドレンもやはり小さい確率が高いという性質を利用する。このようなゼロツリー構造は、DCT係数の符号化に一般的に利用されるジグザグ(zigzag)スキニング及びEOB(End of block)の概念と類似である。例えば、前記EZWは係数を帯域別にスキニングする。すなわち、ペアレントは、同帯域の全ての隣接のペアレントがスキニングされた後、それらのチルドレンがスキニングされる。そして、各係数は、現臨界値に対して比較される。この際、係数の絶対値が臨界値よりも大きい場合には、負(negative)或いは正(positive)の重要度シンボル(significant symbol)のうち一つに符号化される。また、ゼロツリールートシンボル(root symbol)は、ゼロツリー構造をなす全チルドレンが臨界値以下値であるペアレントを符号化するのに用いられる。アイソレートゼロシンボル(isolated zero symbol)は少なくとも一つのチルドレンが臨界値以上である係数を符号化する。

【0023】この際、前記EZWは、重要情報と判定された係数に対して連続推定量子化(SAQ)を用いて更に符号化する。前記ウェーブレット係数の量子化のための連続推定技法は、重要なビット順に並んだ組込式ビットストリームを作る。そして、前記EZWは、ウェーブレットが周波数及び空間情報を有するため、データの空間的なグルーピング(grouping)及び量子化が可能である。また、同方向の帯域に対する連続推定アルゴリズムの効率を向上させるには、ゼロ及び非ゼロ(nonzero)値を効率よく予測しなければならない。

【0024】一方、数多いウェーブレットによる映像符号化器のうち、向上したゼロツリー方法によるSaid and PearmanのSPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)符号化器があるが、圧縮性能面に優れた組込式映像符号化器である。

【0025】前記SPIHT符号化方法は、既符号化されたツリーノード(tree node)を除去し、半分ずつ減少する臨界値に対して重要ノード(significance node)を

更新することにより、係数間の重複性(redundancy)を効率よく除去する。

【0026】この方法が、EZWよりも大きく性能向上する最も大きな理由は、重要係数が最低帯域に主に分布する性質を用いる向上したゼロツリー構造であるからである。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】しかし、かかる方法は、主に高解像度(512×512)映像による停止映像圧縮符号化には非常に効率的であるものの、QCIF等の低解像度(176×144)を主として使用する低伝送率ビデオ圧縮ではフィルタリング特性及び不十分な帯域分解、つまりウェーブレットの空間周波数特性の低下に起因して(ゼロツリー符号化効率が落ちることにより)符号化性能が著しく低下する。また、EZWをDFD符号化に適用する場合、既存のウェーブレットによるピラミッド構造の分解は、上位レベルへのエネルギー圧縮効率が低下、且つ中間及び高周波数成分が碌に反映されないため、全体的な符号化の効率がむしろDCTによる方法よりも落ちる。そして、DCTは、若干の変形(variation)はあるものの、比較的によく定義された単一変換である反面に、ウェーブレットは、ウェーブレット種類(orthogonal, biorthogonal, wavelet packet, multi wavelet等)により幾多の種類の映像符号化器を組立可能である。これは、ウェーブレットによるビデオ符号化及び復号化器を設計するにあたって幾多の選択が存するという問題点がある。

【0028】さらに、8×8ブロックDCTは、停止映像圧縮標準案であるJPEG及びMPEG(MPEG1, MPEG2, MPEG4)、H.261、H.263等の大部分のビデオ圧縮標準案のIフレーム及び動き補償された映像とのエラー(つまり、DFD; Displaced Frame Difference)を符号化するために使用される点に鑑みて、既存のビデオ符号化器との互換性(compatibility)も大きな問題となる。

【0029】本発明は、上記の問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、DCTを用いて既存の組込式映像符号化の利点を有する映像符号化装置及び方法、そして復号化装置及び方法を提供することにある。

【0030】本発明の他の目的は、DCT係数を2レベルピラミッド構造として再配置した後、ゼロツリー符号化することにより、ゼロツリー符号化の効率を高めながら既存のDCTによる符号化器との互換性を維持する、映像符号化装置及び方法、そして復号化装置及び方法を提供することにある。

【0031】本発明の又他の目的は、空中網(PSTN)を通ずる映像電話システム用の低伝送ビット率映像の伝送に適したDCTによる組込式映像符号化装置及び方法、そして復号化装置及び方法を提供することにある。

【0032】本発明の又他の目的は、動き補償された映像とのエラー信号の符号化効率を高めるDCTによる組込式映像符号化装置及び方法、そして復号化装置及び方法を提供することにある。

【0033】

【課題を解決するための手段】本発明の映像符号化方法は、入力フレームを複数のブロックに分けた後、各ブロック別にブロックの空間領域を周波数領域に変換する第1段階と、前記第1段階で変換された周波数帯域別の係数を映像再現に必要な情報を含んでいる程度に基づいて重要度順に分類して再配置する第2段階と、前記第2段階で再配置された係数の位置及び大きさの情報を重要度順に符号化して重要度に基づいて整列されたビットストリームを出力する第3段階とを備えることを特徴とする。

【0034】本発明の映像符号化装置は、入力フレームを複数のブロックに分けた後、各ブロックの空間領域を周波数領域に変換する変換部と、前記変換部の変換係数を映像再現に必要な情報を含んでいる程度に基づいて重要度順に分類して再配置する再配置部と、前記再配置された係数の位置及び大きさの情報を重要度順に符号化して重要度に基づいて整列されたビットストリームを出力するゼロツリー符号化部とを備えることを特徴とする。

【0035】前記変換部は、Iフレームの場合、入力されるデータをDCTによって周波数領域に変換することを特徴とする。

【0036】前記変換部は、Pフレームの場合、以前のI又はPフレームを用いて動き補償予測を行った後、前記動き補償されたデータと現在入力されるデータとの差をDCTにより周波数領域に変換することを特徴とする。

【0037】前記変換部は、Pフレームの各ブロックに対してはイントラ或いはインタモードで符号化することを特徴とする。

【0038】前記再配置部は、前記変換部のDCT係数をウェーブレット解釈を用いて分類した後、これを2レベルピラミッド構造として再配置することを特徴とする。

【0039】前記再配置部の2レベルピラミッド構造は、均一帯域分解方法で分解された4つの帯域を独立的にウェーブレット変換した構造であることを特徴とする。

【0040】前記再配置部は、前記DCT係数のDC係数と周波数によるAC係数値とに分解して、DCの空間的相関性を用いるために定義されたベアレントーチルドレン関係で最低周波数帯域のみを再配置する形態に分類及び再配置することを特徴とする。

【0041】前記再配置部は、再配列されたDCT係数の量子化のために、DC値をバイアス(bias)させること

を特徴とする。

【0042】前記再配置部は、Iフレームに対してはDC係数の平均値をDC係数から減算してDC値をバイアスさせることを特徴とする。

【0043】前記再配置部は、Pフレームに対しては各フレーム当たりのイントラブロックのDCT係数の平均値をDC係数から減算してDC係数をバイアスさせることを特徴とする。

【0044】前記再配置部は、Pフレームのインタモードのブロックに対してはDC平均値を0としてDC値をバイアスさせないことを特徴とする。

【0045】前記ゼロツリー符号化部は、再配置された各係数は一連の臨界値に比べて重要係数の位置及び符号を符号化し、初期臨界値は最大計数値よりも小さい2の最大階乗とし、これを半分ずつ減らしながら行うことを特徴とする。

【0046】前記ゼロツリー符号化部は、重要情報の位置及び符号を符号化する分類経路と、重要係数を連続的に推定するのに必要な細密区分経路との2段階を包含することを特徴とする。

【0047】前記ゼロツリー符号化部の出力ビットストリームは、重要性テスト結果と、符号と、細密に分類されたビットとを備えることを特徴とする。

【0048】前記ゼロツリー符号化部は、最も重要な係数の近似値を先伝送し、一度に1ビットずつ全重要係数値を細密に分類することにより、最も重要な情報を徐々に伝送することを特徴とする。

【0049】前記ゼロツリー符号化部は、ゼロツリー符号化過程で発生する重要性テスト結果、符号、細密な分類シンボルは適応的算術符号化方法によって無損失エントロピー符号化するエントロピー符号化部を更に含むことを特徴とする。

【0050】前記ゼロツリー符号化部の出力は、動き補償及び予測のために多数個の均一の分解帯域を有するように逆再配置することを特徴とする。

【0051】本発明の映像復号化方法は、伝送されるビットストリームデータを重要度の高い順に変換する第1段階と、前記第1段階で変換されたデータをもととブロック単位のフレーム領域に再配置する第2段階と、前記第2段階で再配置されたブロック単位のデータを周波数領域から空間領域に変換する第3段階とを備えることを特徴とする。

【0052】前記第1段階は、入力ビットストリームデータをEZ(embedded zerotree)構造に変換することを特徴とする。前記第2段階は、前記EZ構造に変換されたデータをウェーブレット構造に再配置することを特徴とする。前記第3段階は、再配置されたデータを逆離散余弦変換(IDCT)することを特徴とする。

【0053】本発明の映像復号化装置は、入力ビットストリームデータをEZ構造により重要度による原映像情



報に分類して再配置する分類及び再配置部と、前記分類及び再配置されたデータをブロック単位として入力ビットストリームデータのDCT係数と周波数によるAC係数値をピクチャに対応する情報として変換するIDCT部とを備えることを特徴とする。

#### 【0054】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施形態を添付図面を参照して詳細に説明する。

【0055】一般に、前記EZW、SPIHT等のゼロツリー構造は、ウェーブレット変換の帯域間空間周波数の特性によるディケイイングスペクトル(decaying spectrum)性質を共通利用する。かかる性質は、DCTも違いはあるもののウェーブレットと共有する。従って、DCT係数の適切な再配置方法によってDCTをEZ符号化に利用することができる。

【0056】本発明は、 $8 \times 8$ のDCTが64個の均一の分解帯域を有するウェーブレット変換というウェーブレット解釈を用いて、DCT係数を2レベルゼロツリー構造に再配置することでゼロツリー符号化の効率を高める。

【0057】模擬試験の結果、本発明によるDCT係数の2レベルマッピング(mapping)方法は、効率的なゼロツリー構造を作って低伝送ビット率ビデオ圧縮標準案であるH. 263のIフレーム符号化方法よりも画質面で優れた性能を示し、更に既存のシャピロ(shapiro)のウェーブレットによるEZW方法よりも一層高いビット率歪曲(rate distortion)向上を示している。また、停止映像圧縮でも、JPEG及び他の代表的なウェーブレット組込式映像符号化器の引用された結果に匹敵するビット率歪曲向上を示している。

【0058】図2は本発明の映像符号化装置の構成ブロック図である。量子化器200以外のブロックは従来の図1と同様なので、同様なブロックについては同符号を付けて詳細な説明を省略する。

【0059】すなわち、本発明は、係数別に符号化する既存の接近方法を脱し、各係数を一定のビットで徐々に量子化するEZ量子化器200を採択する。この際、図2に示すような映像符号化器に入力されるビデオの各フレームは、最初フレーム(I)はイントラ(intra)、その以外のフレーム(P)はインタ(inter)で符号化される。符号化は、マクロブロック単位になっており、明るさ及び色成分は4:2:0のフォーマットである。

【0060】すなわち、Iフレームの場合、第1入力映像の明るさ(Y)及び色(Cb、Cr)成分を $8 \times 8$ ブロックに分けた後、各ブロックをDCT部101に入力する。前記DCT101は、各ブロックの映像を空間領域から周波数領域へ変換して空間的重複性を除去する。前記DCT部101でDCTされた各ブロックの係数は、量子化器200の再配置(rearrange)部210に入力され、2レベルピラミッド構造に再配置される。すな

わち、前記DCT部101により周波数領域に変換されたDCT係数を、重要度の高い順に分類し、2レベルピラミッド構造に再配置する。

【0061】前記再配置部201により2レベルピラミッド構造に再配置されたDCT係数は、ゼロツリーコーディング部202でEZ構造としてコーディングされて量子化される。この際、SPIHTコーディング法を使用してもよい。前記量子化された各係数は、エントロピー符号化部103でエントロピー符号化された後にチャンネル104を介して伝送される。

【0062】一方、ビデオシーケンスの全ての連続的なフレーム、例えばPフレームの場合にはH. 263+で使用される動き推定及び報償方法が用いられる。従って、本発明の映像符号化器は、ブロック動き推定、ANNEX D(Unrestricted Motion Vector Mode)またはANNEX F(Advanced Prediction Mode)を選択的に使用可能である。そして、各ブロックの動き予測後の残り(residuals)エラーも、DCT部101でDCTした後、量子化のために再配置部201で2レベルピラミッド構造の残留フレームに再配置する。この際、早い動き或いは物体の動きにより重畳又は露呈された領域、或いはシーン転換の起こる場合、そんなマクロブロックに対しては予測失敗する。その場合、動き推定後にDFDを符号化することよりは原映像のブロックを符号化することが、符号化効率及び主観的画質の側面で好ましい。

【0063】本発明は、そのようなブロックに対してイントラモードで選択して符号化する。ここで、イントラ符号化は、その自身のマクロブロックの情報のみを用いてマクロブロックを符号化することであり、インタ符号化はその自身だけでなく他の時間のマクロブロックの情報を用いてマクロブロックを符号化することである。この際、イントラ/インタモードの決定は次の(数1)になっており、H. 263符号化器のモード決定と同様である。

#### 【0064】

【数1】

$$MB_{mean} = \sum_{i=1}^{16 \times 16} \text{original} / 256$$

$$A = \sum_{i=1}^{16 \times 16} |\text{original} - MB_{mean}|$$

【0065】もし、 $A < (SAD(x, y) - T)$ の場合には、イントラモードが選択され、動き推定が行われない。ただ、Tは所与の臨界値であり、各ブロックの動き状態に基づいて変わることができる。イントラ/インタモードの情報は、H. 263のように付加情報として伝送される。ここで、 $MB_{mean}$ はマクロブロックの平均値であり、Aは前記マクロブロックに対する各ピクセルと平均値との差、つまり各ピクセルの偏差であり、

SADは以前フレームの同じ位置での差値である。

【0066】ここで、イントラモードと選択されたブロックのDCT変換後の周波数スペクトルの特性は、インタモードのブロックと大きな差がある。特に、イントラモードと選択されたブロックのDC係数の大きさが大きい。このため、本発明では、各フレーム当たりのイントラブロックのDCT係数の平均値をDC係数から減算してDC係数をバイアスさせることにより、大きなDC係数に起因して不要なスキニングに浪費されるビット数を減少させる。勿論、インタブロックはバイアスせずに再配置過程を行う。

【0067】このような処理後に構成された2レベルピラミッド構造のDCT係数は、Iフレーム符号化と同様に、ゼロツリーコーディング部202でEZ符号化を用いて量子化する。この際、前記再配置部201でDCT係数を2レベルピラミッド構造に再配置する目的は、DCTされた係数がEZ符号化することができるようにして係数の空間及び周波数間の相互依存性を高めてEZ符号化の効率を高めることにある。すなわち、DCT係数の再配置で量子化係数を最上位ビットから最下位ビットの順に符号化し、帯域内(DC係数の空間的相関性)及び帯域間空間的依存性(一ブロックの低周波からの高周波までのディケーイングスペクトルの特性)を用いてEZ符号化の効率を高めることができる。

【0068】図3はDCTとウェーブレットとの関係を説明するための図である。

【0069】ウェーブレット変換は、映像をQMF(Quadrature Mirror Filter)等のFIR(Finite Impulse Response)分解フィルタを用いて帯域通過フィルタリングした部分映像に分解する。かかる過程は、DCTで使用する基底関数(basic function)分解と関連しているように見える。単に、出力データの構成方法には相違がある。

【0070】一般に、副標本化のファクタ(factor)よりも長い分解フィルタのために正確な関係の定義が複雑であるが、重ねられない(un-overlapped)ブロックに対するDCT計算は各ブロックのDCT基底関数と映像をたたみこみ(convolution)、ブロックの大きさのファクタ(factor)だけ副標本化(subsampling)することと等価である。例えば、 $2 \times 2$ ブロックDCTを顧慮すると、変換後の各ブロックは程度差はあるが、図3の左図に示すようにa(最低周波数)からd(最高周波数)まで4種類の変換係数を有する。これは、同一映像に対する適当な $2 \times 2$ 分解フィルタを利用して映像を分解した後、各方向に2だけ副標本化すると、帯域分解された映像は変換されたブロックと等価である。すなわち、図3の右図に示すように、最上位帯域(low-pass/low-pass)は各DCT変換ブロックの最低周波数成分を集めたものと同一である。他の変換係数は残留帯域に対して同様な方法で集まる。

【0071】このような概念を拡張すると、 $8 \times 8$ ブロックDCTは、64個の均一の分解帯域を有するウェーブレット変換と見られる。従って、本発明は、 $8 \times 8$ ブロックDCTが64個の均一の分解帯域を有するウェーブレット変換であるウェーブレット解釈を利用してDCT係数を2レベルゼロツリー構造として再配置する。

【0072】図4はDCT係数を2レベルピラミッド構造に再配置する過程を示す図で、符号401はDCTされた係数を示し、符号402はこれを2レベルピラミッド構造に再配置したものを表示する。すなわち、前記再配置部201は、DCTされた各 $8 \times 8$ ブロックを、EZWで定義された形態の3レベルウェーブレットピラミッド構造と見なす。そして、各係数間の空間的相関性を示すベアレントーチルドレンの関係を説明するべく各係数の該当する位置に番号を付与する。

【0073】この際、係数iが1~63の中の係数であれば、係数iのベアレントは $i/4$ の整数値である。これに対して、係数jが1~15の中の係数であれば、係数jのチルドレンは $\{4j, 4j+1, 4j+2, 4j+3\}$ である。そして、DC係数の0は、係数1、2、3の3つのチルドレンを有するツリー(tree)のルート(root)である。

【0074】ここで、大部分の映像において重要な情報はDC係数及び始めの幾個のAC係数に包含されているため、各DCTブロックのDC係数及びチルドレン1、2、3は映像の大きさのメモリの最上位帯域にマッピング(mapping)され、各係数の各ベアレント1、2、3に対するチルドレン4、5、6、7；8、9、10、11；12、13、14、15；がそれぞれその次の帯域に、次の帯域のベアレントに対するチルドレンがそれぞれその次の帯域に対応する。

【0075】図5は本発明の構造のベアレントーチルドレンの関係(501-502-502'-503-503')を示す。本発明の構造と従来のウェーブレットによる2レベルピラミッド構造との相違点は分解方法による周波数特性である。すなわち、従来のウェーブレットの2レベルピラミッド構造は、階層的帯域分解方法であって一つの低周波帯域にのみ対して再びウェーブレット変換を適用する。しかし、本発明の2レベルピラミッド構造は、均一帯域分解方法で分解された4つの帯域を独立的にウェーブレット変換した構造である。

【0076】また、本発明の再配置構造は単純であり、均一帯域分解方法と異なる相違点はDCの空間的相関性を用いるために定義されたベアレントーチルドレンの関係で最低周波帯域のみを再配置した形態である。

【0077】既存のウェーブレットの2レベルピラミッド構造は低周波成分をよく反映するものの、中間周波数の成分をよく反映しない。反面に、本発明の構造は、従来のウェーブレット2レベル構造に比べて低周波成分の反映特性は多少劣るが、中間周波数成分をよく反映する



特性を有する。

【0078】このような特徴は、低ビット率伝送で階層的分解方法よりも有利である。その理由は、ゼロツリー符号化の効率を決定するディケイニングスペクトル(decaying spectrum)性質を失わないながら、一般に低ビット率で高周波成分まで符号化できない符号化特性上、中間周波数成分をよく反映して符号化効率を高めることができるからである。

【0079】一方、このように、2レベルピラミッド構造に再配置されたDCT係数の量子化は、EZWの向上した方法、つまりゼロツリー符号化部202によりゼロツリー構造に符号化してなされる。すなわち、前記ゼロツリー符号化部202は、最上位帯域から符号化することにより、視覚的に最も重要(significant)な影響を及ぼす係数を優先的に符号化する。

【0080】Iフレームの場合、各ブロックのDC係数の平均値をDC係数から減算してDC係数をバイアスさせて符号化の効率を高める。まず、最上位帯域のDC成分(各ノード)に対してDC成分の平均値を減算する。隣り合う周辺ブロックのDC値は空間的相関性が大きいいため、このようにして各DC値はどのくらい平均値にバイアス(bias)され、ゼロツリー符号化時に不要なスキニングに浪費されるビットを減少させて効率を高めることができる。

【0081】しかし、Pフレームの場合、隣り合う周辺ブロックDCの空間的相関性が大きくないため、DC平均値を0として上記過程を経ない。

【0082】そして、各係数は一連の臨界値と比較して重要(significant)係数の位置及び符号(sign)を符号化するが、初期しきい値(threshold level)は最大計数値よりも小さい2の最大階乗とし、これを半分ずつ減らしながら行う。

【0083】この際、臨界値よりも大きな係数は重要係数として区分され、臨界値よりも小さな係数は重要でない係数として区分される。すなわち、重要度に基づいてLIS(list of a significant sets)、LIP(list in significant pixels)、LSP(list of significant pixels)の3つの目録(list)を使用する。

【0084】前記LIPは最上位階層のノード(node)に、LISはLIPの各ベアレントのチルドレンの集合にそれぞれ初期化される。

【0085】符号化は、重要情報の位置及び符号を符号化する分類経路(sorting pass)と、重要係数を連続的に推定するのに必要な詳細区分経路(refinement pass)との2段階を包含する。前記分類経路では、まずLIP画素を現在のしきい値と比較し、重要係数であれば符号を出力しLSPに移動させる。

【0086】次に、LISの係数を調査して全て重要でなければ、ただ1ビットだけで表現可能である。もし、重要ピクセル(significant pixel)がある場合には、現

在ルートの子孫(descendant)をルート(root)として有するサブセット(subset)に分割した後、上記過程を繰り返す。そして、LIS、LIPに対する一度の分類経路(sorting pass)が終わると、LSPに対して細密区分経路(refinement pass)が行われて各係数値が1ビットずつ細密に分類される。このように、一度の全体経路が終わると、臨界値を2で割ってその次の分類経路に移る。

【0087】従って、前記ゼロツリー符号化部202の出力ビットストリームは、重要性テストの結果と、符号と、細密に分類されたビットとを備え、符号器と復号器とが同一のアルゴリズムを共有しながら、符号化の進行中のあらゆる決定結果を出力するため、重要係数の位置情報を別に伝送する必要がない。

【0088】かかる方法は、結果的に、最も重要な係数の近似値を先伝送し、一度に一ビットずつあらゆる重要係数値を細密に分類することにより、常に最も重要な情報を選択するプログレッシブ(progressive)伝送となる。もし、DCTが、ウェーブレットのように単位的(unirary)且つ幾何学的な規則(euclidean norm)が保存されるとしたら、上記のような順次的な伝送はMSE(mean square error)を減少させる最適の方法である。

【0089】一方、前記エントロピー符号化部103は、前記ゼロツリー符号化部202のEZ符号化過程で発生する重要性テストの結果と符号と細密な分類シンボルは適応的算術符号化方法によって無損失エントロピー(entropy)符号化される。この方法は、復号器に内在的(implicitly)にモデルを伝送するため、映像に対する事前情報を必要とせず、重要係数間の統計的依存性を非常に効率よく利用することができる。

【0090】本発明では、Witten等の適応的算術符号化アルゴリズムを利用した。本発明は、組込式符号化器であるため、ビット率制御部111のビット率の調節は、既存のビット率歪曲による、あるビット率調節アルゴリズムも可能であり、容易にビット率を調節可能である。

【0091】一方、前記ゼロツリー符号化部202の出力は、動き予測のために逆量子化される必要がある。このため、前記ゼロツリー符号化部202の出力を、再配置部201に入力される前の状態、つまり多数個(例えば64個)の均一の分解帯域を有するように逆再配置部203で逆再配置すると、逆量子化を行った結果を得る。

【0092】そして、前記逆再配置部203の出力は、IDCT部106でIDCTされ、加算器107に出力される。この後の動作は図1と同様である。

【0093】次は、本発明の模擬試験の結果である。すなわち、本発明の映像符号化装置の性能評価は停止映像符号化及びH.263のIフレーム符号化の2つの側面で評価する。実験映像は、QCIF(176×144)

フォーマットのMPEG4のテストシーケンス「Hall Monitor」、「Container」、「News」、「Foreman」、「Table」、「Weather」及び最初フレーム（Iフレーム）の明るさ成分（Y）を利用する。

【0094】ここで、H.263符号化器のビット率の調節は、6から31までのQP(Quantization Parameter)を変化させて符号化ビットを発生させ、発生されたビットをピクセル当たりのビット率(rate per pixel)に換算して同ビット率でEZW及びSPIHT及び本発明の符号化を各行った。

【0095】この際、H.263でのビットは、単に明るさ（Y）成分を符号化するのに要するビットに限定し、色成分（Cb、Cr）を符号化するのに要するビットは除外する。又、EZW符号化器及びSPIHT符号化器のフィルタは、同等の比較のために、SPIHT符号化器で使用する双直交フィルタ(biorthogonal filter)で統一させる。そして、本発明による符号化器は2レベル構造であるの点に鑑みて、EZW符号化の性能評価のために2レベルにSPIHT及びEZWを行った。

【0096】図5、図6はMPEG4のテストシーケンス「Hall Monitor」（ホールモニタ）に対する各々のビット率歪曲性能（すなわち、客観的画質評価）並びに同ビット率で再構成された映像（つまり、主観的画質評価）を示す。図7は従来のH.263+符号化器と本発明の符号化器との符号化性能を比較するグラフである。

【0097】本発明の符号化器は、H.263+及びANNEX Iを有するH.263+映像符号化器よりも優れたIフレーム符号化の優れたビット率歪曲性能の向上を示している。従って、シーン転換及び高速度の物体移動による場面での露呈或いは重畳された領域に対して優れた符号化効率を得られる。

【0098】すなわち、本発明による映像符号化装置は、複雑度の各々の異なる全てのテスト映像に対して、低伝送率DCTによる標準案のH.263及び同レベル構造の代表的なウェーブレット組込式映像符号化器よりも優れたビット率歪曲性能向上を示し、主観的画質面でも画質向上している。また、本発明の映像符号化装置は、停止映像圧縮標準案のJPEG、改良(improved)JPEG、同レベル構造のウェーブレット符号化器よりも効率が向上している。

【0099】上記のような実験の結果、DCT係数の2レベルマッピング方法は、効率的なゼロツリー構造を作って停止映像圧縮でもJPEG及び他の代表的なウェーブレット組込式映像符号化器の引用された結果に匹敵する性能を示す。

【0100】一方、このように符号化され伝送された映像を復号する映像復号化器は、映像符号化器と同様なアルゴリズムを使用する。本発明による映像復号化は、映像符号化の反対過程を行う。例えば、本発明の復号化方法は、伝送されるビットストリームデータを重要度の高

い順に変換し、前記変換されたデータをもととのブロック単位のフレーム領域に再配置した後、再配置されたブロック単位のデータを周波数領域から空間領域へ変換する。すなわち、入力ビットストリームデータをEZW構造に変換し、これをウェーブレット構造に再配置した後、IDCTして復元する。

【0101】又、本発明による映像復号化装置は、入力ビットストリームデータをEZW構造に基づいて重要度による原映像情報に分類して再配置する再配置部と、前記分類及び再配置されたデータをブロック単位として入力ビットストリームデータのDC係数と周波数によるAC係数値をピクチャに対応する情報に変換するIDCT部とを備える。

【0102】このような本発明の映像復号化器の動作は、本発明の映像符号化と同様な過程を経るので、IDCT、ウェーブレット構造への再配列復元、EZWコーディング/デコーディングを行うことは自明である。

【0103】一方、本発明の他の実施例としての映像符号化器は、既存の映像符号化器と互換性を有する。すなわち、第1符号化手段は図1と同様な既存の方式を行い、第2符号化手段は図2と同様な本発明の符号化方式を行い、この2つのうち一つを使用者の手動選択或いは自動選択（低伝送率の場合）により選択する手段を更に備えることで互換性を確保する。

【0104】このように、本発明の映像符号化装置/復号化装置は、DCT及びウェーブレット変換の特性を利用してDCT係数を2レベルピラミッド構造として再配置して、既存のEZW符号化方法を効率よく利用することができる。これは、実験結果で立証される。

【0105】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の映像符号化装置及び方法、並びに復号化装置及び方法によれば、8×8ブロック単位のピクチャデータをDCT変換し、前記DCT係数をウェーブレット構造に変換して重要度高い情報順に分類した結果を得た後、これをEZW符号化して伝送し、伝送された映像を前記映像符号化の反対過程で復号化する。これにより、下記のような利点を奏する。

【0106】（1）既存の符号化器との互換性(compatibility)及び優れたビット率歪曲(rate-distortion)性能向上により、空中網(PSTN)を通ずる映像電話システム用の低伝送率ビデオ伝送に適する。

【0107】（2）本発明のゼロツリー符号化は、階位特性及びビット率の制御が非常に容易である。従って、通常的に利用されるビット予算(budget)がない時、或いはバッファが所与の臨界値を越える時、いつでもビットストリームを打ち切る(truncation)ことができる。この特徴は、映像データベースでのブラウジング(browsing)に特に有用である。

【0108】（3）Iフレーム符号化の優れたビット率

歪曲性能により、シーン転換及び早速度の物体移動による場面での露呈或いは重畳された領域(motion failed領域)に対して優れた符号化効率を得られる。特に、MPEG-4又はH. 263のテスト映像でなくカメラに直接入力される自然映像である場合、イントラマクロブロックの発生が多いため、一層大きな符号化効率を得られる。すなわち、低伝送率映像符号化器の性能にはIフレームの効率的な符号化が非常に大切であるため、本発明の符号化器が映像符号化器に実際適用される場合、全体的な符号化効率が向上する。

【0109】(4)ブロック歪曲現象が減少する。これは、DC係数を優先的に符号化し、中間及び高周波数の成分を反映する結果である。又、これにより、DFD符号化のエネルギー圧縮効率を高めて全体的な符号化効率を向上させる。

【0110】(5)標準化進行中のMPEG-4、H. 263++、H. 26Lの要求条件に適し、実際応用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のDCT基盤映像符号化装置の構成ブロック図である。

【図2】本発明による映像符号化装置の構成ブロック図である。

【図3】DCTとウェーブレットとの関係を説明するための図である。

【図4】図2においてDCT係数が2レベルピラミッド

構造に再配置される関係を示す図である。

【図5】DCT係数の2レベルピラミッド構造への再配置においてペアレントーチルドレンの関係を示す図である。

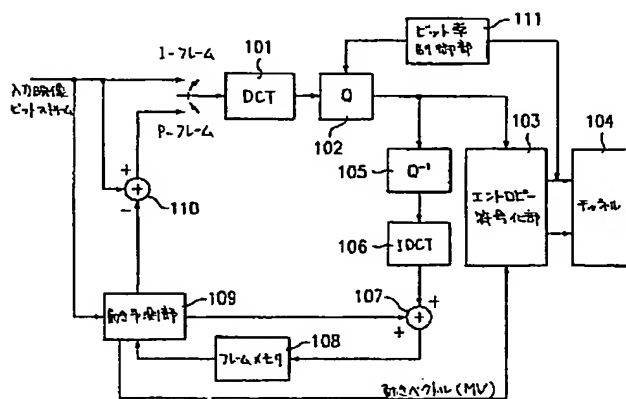
【図6】ホール(hall)映像をモニタする場合、本発明と従来技術との性能評価及び比較の一例をグラフに示す図である。

【図7】フォアマン(foreman)映像をモニタする場合、本発明と従来技術との性能評価の一例をグラフに示す図である。

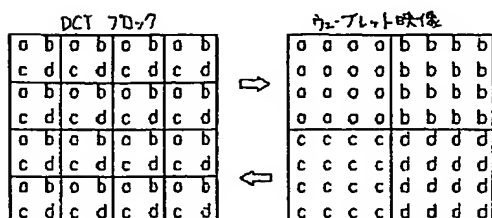
【符号の説明】

- 101 DCT部
- 103 エントロピー符号化部
- 104 チャンネル
- 106 IDCT部
- 107 加算器
- 108 フレームメモリ
- 109 動き予測部
- 110 減算器
- 111 ビット率制御部
- 200 量子化器
- 201 再配置部
- 202 ゼロツリー符号化部
- 203 逆再配置部
- 401 符号
- 402 符号

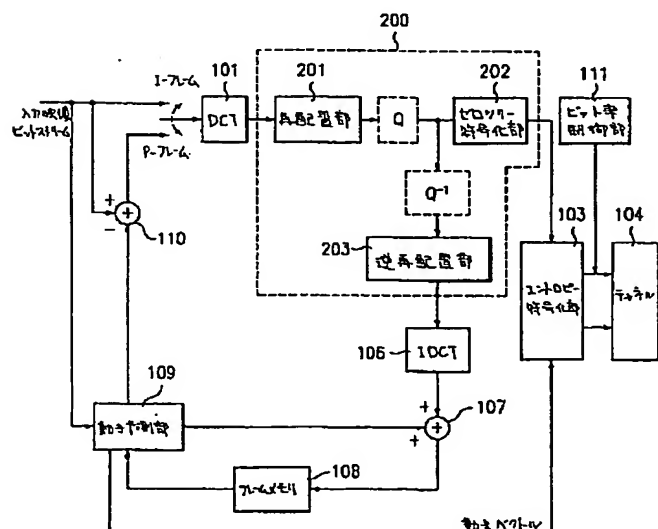
【図1】



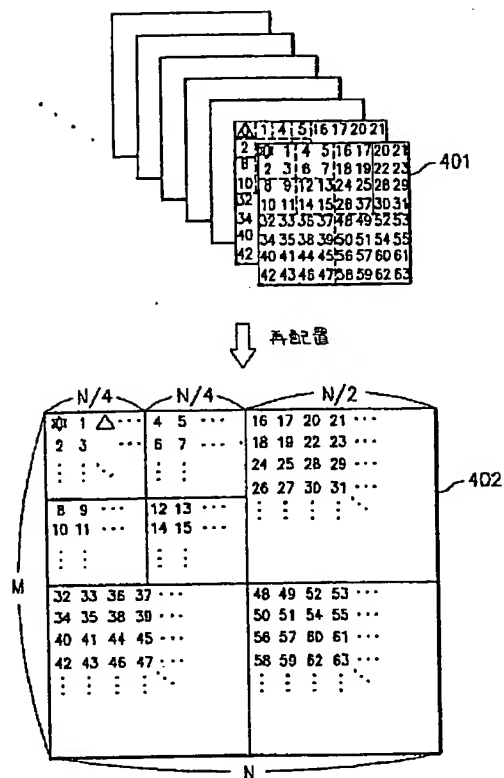
【図3】



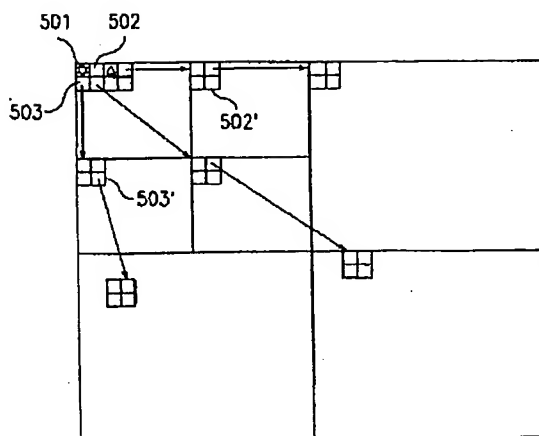
【図2】



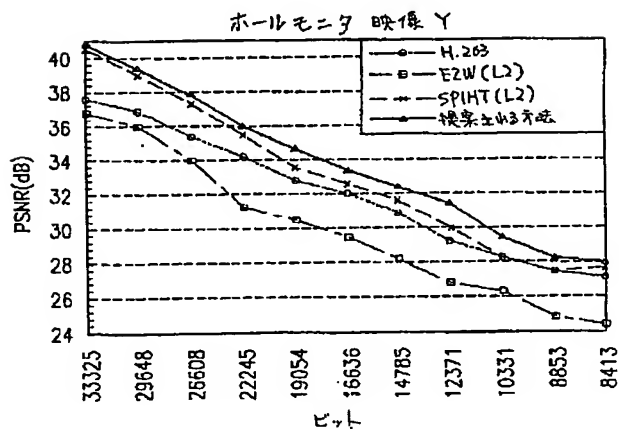
【図4】



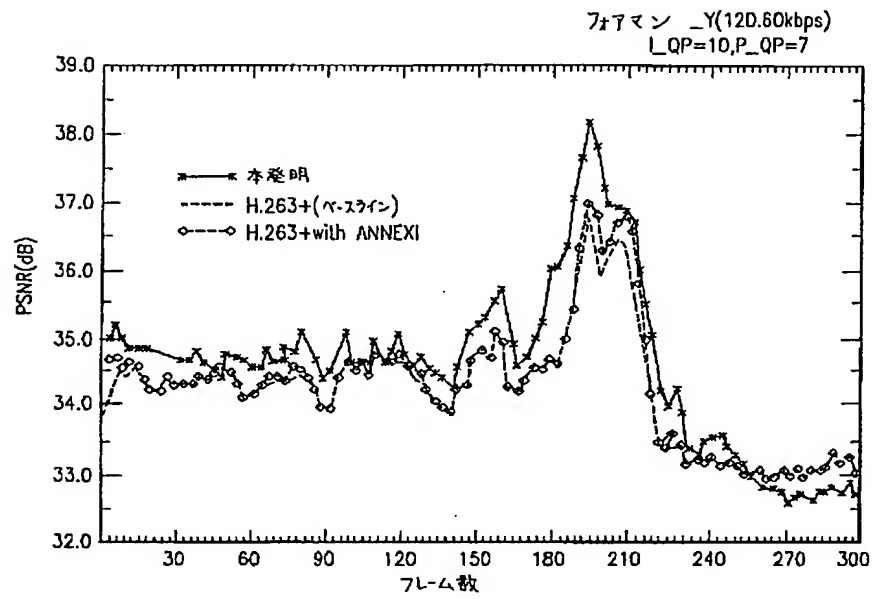
【図5】



【図6】



【図7】



BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**